

# ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ И СООТНОШЕНИЯ ВДОХА-ВЫДОХА

*А.Л. Кулик<sup>1</sup>, А.К. Задержин<sup>2</sup>, В.И. Шульгин<sup>2</sup>, А.В. Мартиненко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина

<sup>2</sup>Национальный Аэрокосмический Университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина

На 4 здоровых добровольцах в возрасте от 22 до 29 лет (2 мужчины и 2 женщины) с индексом массы тела от 21 до 23 изучены индивидуальные особенности и общие закономерности реакций спектральных показателей ВСР на низких и высоких частотах дыхания с разными соотношениями вдоха-выдоха. Показано, что максимум LF спектра ВСР достигается при частоте 6 дыханий в минуту. А максимум HF спектра ВСР регистрируется при дыхании с частотой 10-12 в минуту. Продemonстрировано, что кроме частоты метрономизированного дыхания на мощность и структуру спектра ВСР существенно влияет соотношение длительности вдоха-выдоха. Установленные максимумы значений TR спектра ВСР и LF спектра ВСР лежат в диапазоне 1/1,2-1/1,3, а максимум HP спектра ВСР – в диапазоне 1/1,3-1/1,4. Использование наиболее оптимальных соотношений вдоха-выдоха позволит более тонко влиять на регуляторные процессы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вариабельность сердечного ритма, биофидбек, частота дыхания.

## ПОКАЗНИКИ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ЗДОРОВИХ ДОБРОВОЛЬЦІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЧАСТОТИ ДИХАННЯ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ ВДИХУ-ВИДИХУ

*О.Л. Кулик<sup>1</sup>, О.К. Задержин<sup>2</sup>, В.И. Шульгин<sup>2</sup>, О.В. Мартиненко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

<sup>2</sup>Національний Аерокосмічний Університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна

На 4 здоровых добровольцах в возрасте от 22 до 29 лет (2 мужчины и 2 женщины) с индексом массы тела от 21 до 23 изучены индивидуальные особенности и общие закономерности реакций спектральных показателей ВСР на низких и высоких частотах дыхания с разными соотношениями вдоха-выдоха. Показано, что максимум LF спектра ВСР достигается при частоте 6 дыханий в минуту. А максимум HF спектра ВСР регистрируется при дыхании с частотой 10-12 в минуту. Продemonстрировано, что кроме частоты метрономизированного дыхания на мощность и структуру спектра ВСР существенно влияет соотношение длительности вдоха-выдоха. Установленные максимумы значений TR спектра ВСР и LF спектра ВСР лежат в диапазоне 1/1,2-1/1,3, а максимум HP спектра ВСР – в диапазоне 1/1,3-1/1,4. Использование наиболее оптимальных соотношений вдоха-выдоха позволит более тонко влиять на регуляторные процессы.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** варіабельність серцевого ритму, біофідбек, частота дихання.

## INDICATORS OF HEART RATE VARIABILITY IN HEALTHY VOLUNTEERS DEPENDING ON THE RESPIRATION RATE AND INHALATION-EXHALATION RATIO

*A.L. Kulik<sup>1</sup>, A.K. Zaderihin<sup>2</sup>, V.I. Shulgin<sup>2</sup>, A.V. Martynenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>V.N. Karazin Kharkov National University, Ukraine

<sup>2</sup>National Aerospace University, named by N. E. Zhukovskii «Kharkov Aviation Institute», Ukraine

At the 4 healthy volunteers aged 22 to 29 years (2 men and 2 women) with a body mass index from 21 to 23 individual characteristics and general laws of the reactions of the spectral indices of HRV in the low and high frequencies of breathing with different ratios of breaths were examined. It is shown that the spectrum of HRV LF maximum is reached at a frequency of 6 breaths per minute. A maximum of HF range of HRV recorded during breathing with a frequency of 10-12 per minute. Demonstrated that in addition to the frequency of paced breathing the inhalation-exhalation ratio significantly affects the power and structure of the spectrum of HRV. Maximum values of the TR spectrum of HRV and LF HRV spectrum lie in the range of 1/1, 2-1/1,3, and the maximum HP of the spectrum of HRV – in the range of 1/1,3-1/1,4. Using the best balance of inhalation-exhalation allow more subtly to influence the regulatory process.

**KEY WORDS:** heart rate variability, biofeedback, breathing frequency

Притом, что проблеме изменения метрономизированного дыхания посвящен ряд спектральной мощности ВСР под влиянием работ [1-4], в них внимание концентрируется

на медленных частотах дыхания (приводящих к росту низкочастотной компоненты ВСР), практически оставляя без внимания более высокие частоты дыхания и различные соотношения вдоха-выдоха.

Исследование выполнено в рамках НИР ХНУ «Разработка и исследование системы автоматического управления вариабельностью сердечного ритма» № госрегистрации 0109U000622.

Цель исследования. Установить индивидуальные особенности и общие закономерности реакций спектральных показателей ВСР на низких и высоких частотах дыхания с разными соотношениями вдоха-выдоха у здоровых добровольцев как основу построения эффективных техник биообратной связи в задачах повышения качества регуляторных систем человека.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 4 здоровых добровольца в возрасте от 22 до 29 лет (2 мужчины и 2 женщины), с индексом массы тела от 21 до 23. Частота сердечных сокращений варьировала от 81 до 85 в минуту, артериальное давление находилось в диапазоне – 100/60 и 120/80 мм рт.ст.

У всех испытуемых с помощью компьютерного диагностического комплекса «Cardio Lab 2009» («ХАИ-Медика») с частотой дискретизации сигнала 1000 Гц проводилось по 2 серии мониторинговых записей ЭКГ на трехминутных интервалах. Записи производились в положении сидя, ритм и соотношение фаз вдоха-выдоха дыхания задавались метрономом, встроенным в программу «Cardio Lab 2009».

Полученные интервалограммы при помощи быстрого преобразования Фурье раскладывали на три типа волн: медленные (VLF) – частотой от 0,0033 до 0,05 Гц, средние (LF) – от 0,05 до 0,15 Гц и быстрые (HF) – от 0,15 Гц до 0,40 Гц. Считается, что медленные волны преимущественно связаны с терморегуляцией, гуморальной (калликреинкининовая, ренин-ангиотензивная,

гормональные, иные) регуляцией и симпатическим звеном вегетативной нервной системы; средние и быстрые – преимущественно с вегетативной нервной системой: средние больше с симпатическим и быстрые – парасимпатическим звеном.

На каждом трехминутном интервале изучались средняя частота сердечных сокращений (ЧСС) и следующие показатели ВСР: общая мощность (TP,  $\text{мс}^2$ ) спектра ВСР, мощности спектров доменов низких (VLF,  $\text{мс}^2$ ), средних (LF,  $\text{мс}^2$ ) и высоких (HF,  $\text{мс}^2$ ) частот.

Первая серия из 6 записей проводилась при частоте дыханий – 6 в минуту (максимум TP спектра ВСР) с соотношением вдоха-выдоха 1/1; 1/1,1; 1/1,2; 1/1,3; 1/1,4 и 1/1,5. Вторая серия записей проводилась на частоте дыханий 9 для мужчин и 11 для женщин (частоты максимума HF спектра ВСР) при таких же соотношениях вдоха-выдоха.

В программе Microsoft Excel 2003 по каждому добровольцу проводилось построение графиков изменения ЧСС и показателей ВСР в зависимости от частоты дыхания и соотношения фаз вдоха-выдоха. Графики анализировались с учетом индивидуальных и общих закономерностей в изменениях исследуемых показателей, в том числе по половым признакам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости ЧСС добровольцев от соотношения фаз вдоха-выдоха при низкой и высокой частоте дыхания соответственно. На низкой частоте дыхания за исключением одного испытуемого прослеживается тенденция урежения ЧСС при относительном удлинении выдоха. На высокой частоте дыхания у всех испытуемых прослеживается тенденция сближения значений ЧСС при относительном удлинении выдоха. Эти изменения ЧСС, однако, оказываются значимыми.

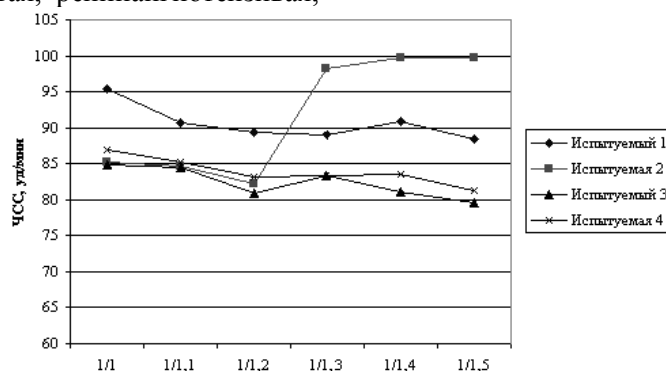


Рис. 1. Реакция ЧСС на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при низкой частоте дыхания.

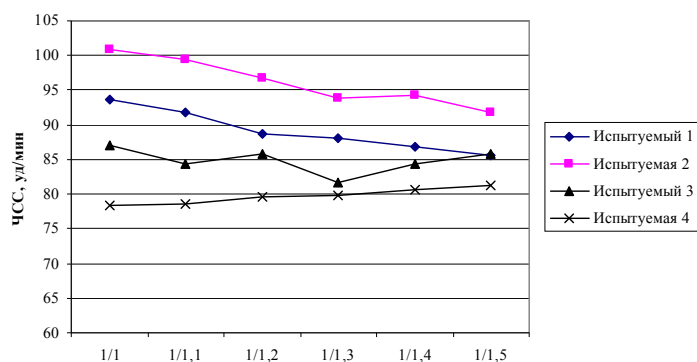


Рис. 2. Реакция ЧСС на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при высокой частоте дыхания.

На рис. 3 и 4 представлены графики реакции ТР спектра ВСР на изменение соотношения вдоха-выдоха при низкой и высокой частоте дыхания, соответственно. Изменения ТР спектра ВСР более переменны, чем ЧСС, характеризуются колебательным характером изменений. На

низкой частоте дыхания ТР спектра ВСР значительно выше, чем на высокой. При низкой частоте дыхания максимум мощности ТР проявляется при соотношении вдоха-выдоха 1/1,2 и 1/1,3, и на высоких частотах дыхания – 1/1,3-1/1,4.

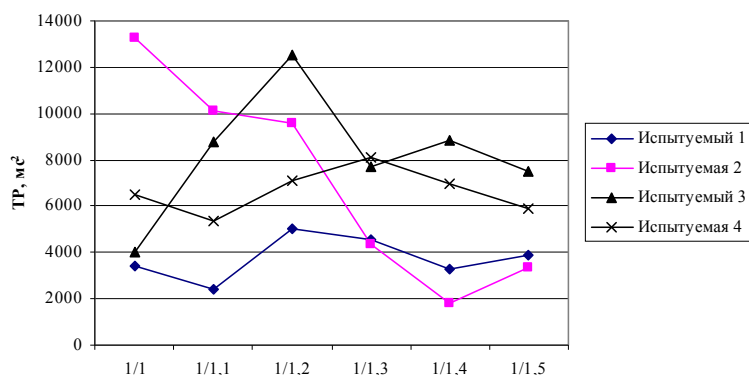


Рис. 3. Реакция ТР спектра ВСР на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при низкой частоте дыхания.

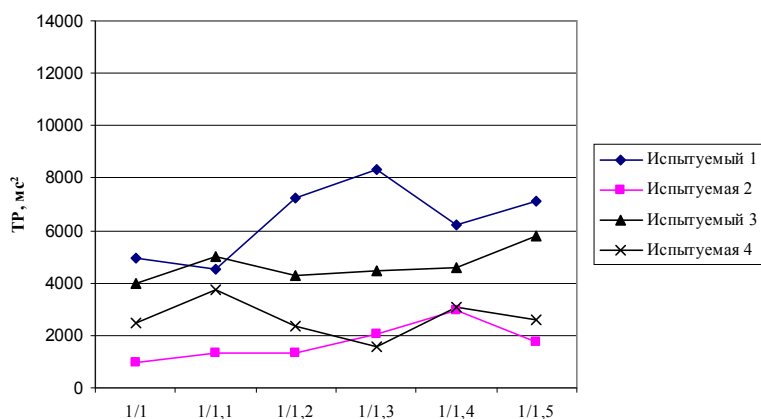


Рис. 4. Реакция ТР спектра ВСР на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при высокой частоте дыхания.

На рис. 5 и 6 представлены графики реакции VLF спектра ВСР на изменение соотношения вдоха-выдоха при низкой и высокой частоте дыхания соответственно. Изменения VLF спектра ВСР при относительном удлинении фазы выдоха достаточно переменны и носят

колебательный характер. При низкой частоте дыхания максимум мощности VLF спектра ВСР проявляется в диапазоне соотношения вдоха-выдоха 1/1,2-1/1,4, на высоких частотах дыхания максимум мощности VLF преимущественно находится в пределах соотношения вдоха-выдоха 1/1,3-1/1,4.

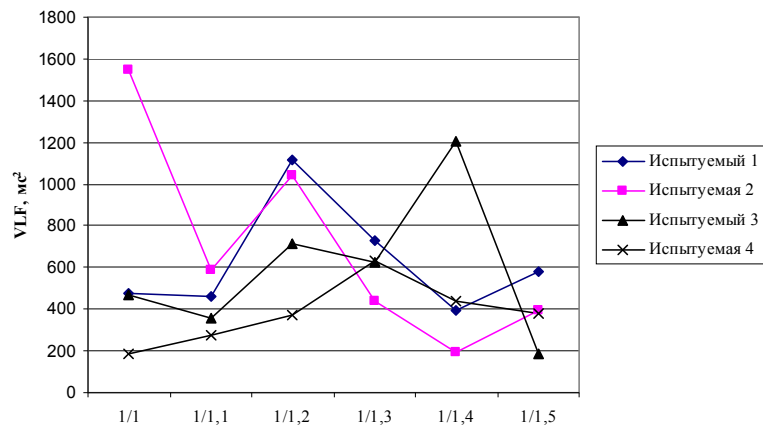


Рис. 5. Реакция VLF спектра ВСР на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при низкой частоте дыхания.

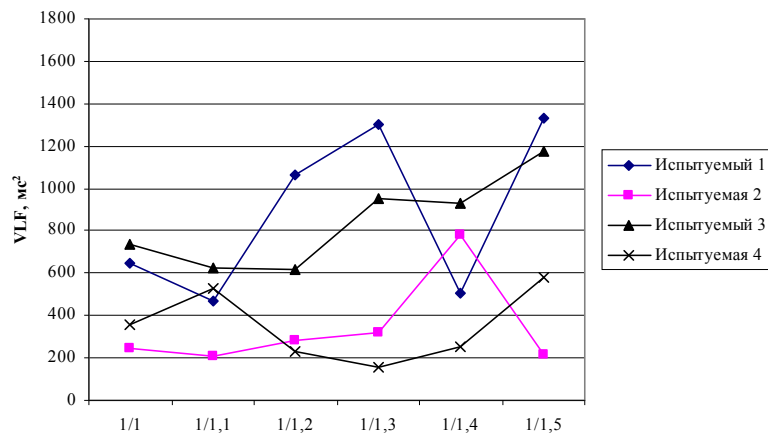


Рис. 6. Реакция VLF спектра ВСР на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при высокой частоте дыхания.

На рис. 7 и 8 представлены графики реакции LF спектра ВСР на изменение соотношения вдоха-выдоха при низкой и высокой частоте дыхания соответственно. На низкой частоте дыхания LF спектра ВСР значительно выше, чем на высокой. При низкой частоте дыхания максимум

мощности LF спектра ВСР также проявляется при соотношении вдоха-выдоха 1/1,2 и 1/1,3, а на высоких частотах дыхания происходит падение мощности LF спектра ВСР, с некоторым подъемом при соотношении вдоха-выдоха 1/1,1-1/1,2.

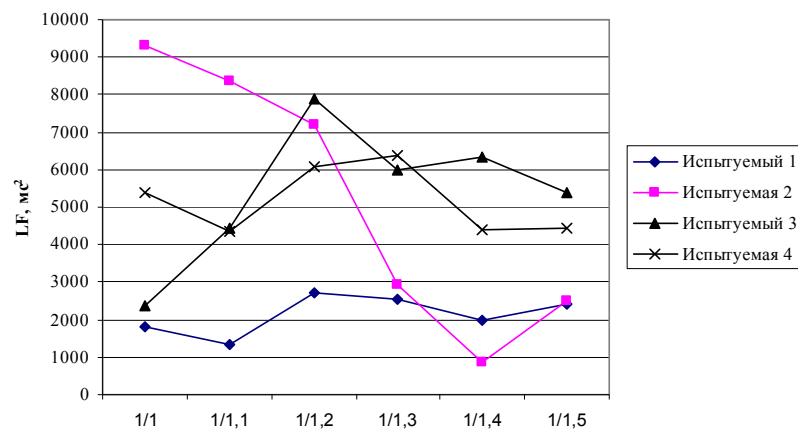


Рис. 7. Реакция LF спектра ВСР на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при низкой частоте дыхания.

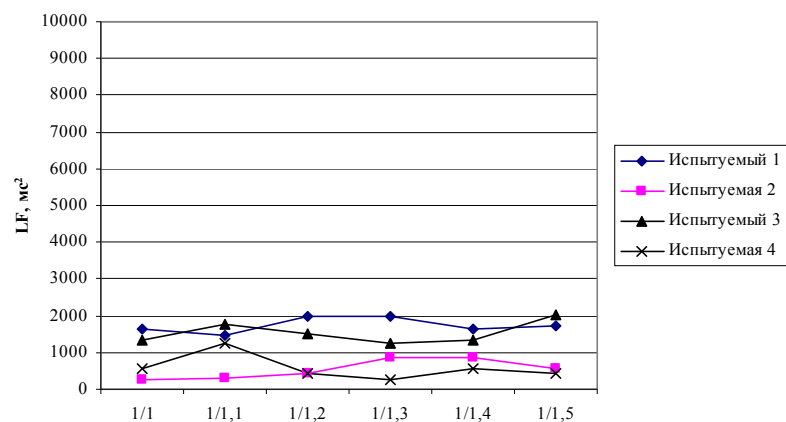


Рис. 8. Реакция LF спектра ВСП на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при высокой частоте дыхания.

На рис. 9 и 10 представлены графики реакции HF спектра ВСП на изменение соотношения вдоха-выдоха при низкой и высокой частоте дыхания соответственно. На низкой частоте дыхания мощность HF спектра ВСП значительно ниже, чем на

высокой. При низкой частоте дыхания максимум мощности HF спектра ВСП отмечается в диапазоне соотношения вдоха-выдоха 1/1,2-1/1,4, а на высоких частотах дыхания – при соотношении вдоха-выдоха 1/1,3-1/1,4.

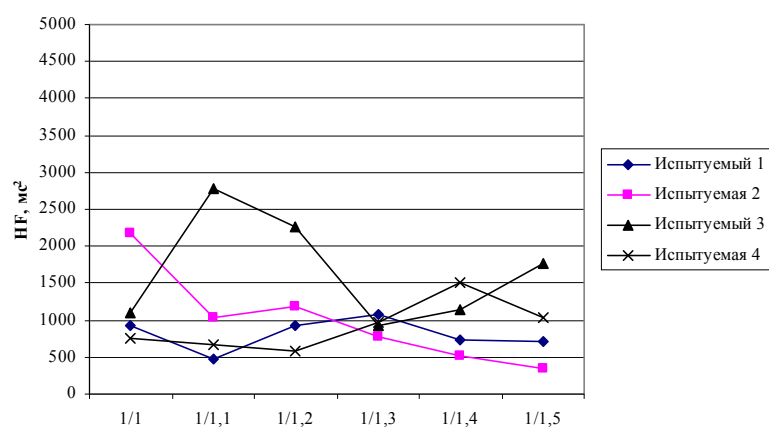


Рис. 9. Реакция HF спектра ВСП на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при низкой частоте дыхания.

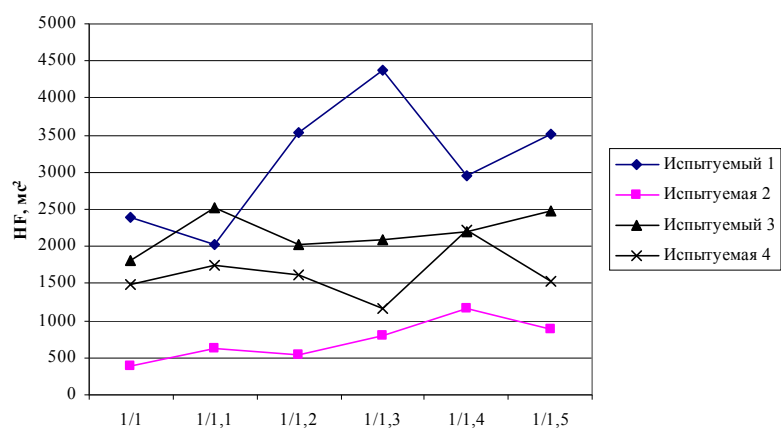


Рис. 10. Реакция HF спектра ВСП на изменение соотношение фаз вдоха-выдоха при высокой частоте дыхания.

Полученные нами результаты показывают, что частота дыхания практически не влияет на ЧСС у здоровых добровольцев.

Данные о большей ТР спектра ВСР на низкой частоте дыхания и меньшей – на высокой совпадают с результатами [5-8]. Высокая ТР спектра ВСР, наблюдаемая на низкой частоте дыхания, обеспечивается за счет увеличения LF спектра ВСР. Низкая ТР спектра ВСР на высоких частотах дыхания находит объяснение в том, что повышение HF спектра ВСР не сопровождается ростом ТР спектра ВСР.

Установленная нами связь ТР спектра ВСР с частотами дыхания позволяет использовать биообратную связь на основе метрономизированного дыхания для ее оптимизации в клинической практике [2].

Полученные нами данные показывают также, что важным для достижения целевых показателей спектра ВСР кроме частоты является соотношение вдоха-выдоха. Установленные максимумы значений ТР спектра ВСР и LF спектра ВСР лежат в диапазоне 1/1,2-1/1,3, а максимум HF спектра ВСР – в диапазоне 1/1,3-1/1,4.

Кроме того, наши данные показывают, что максимумы ТР спектра ВСР и ее составляющих (LF и HF), можно влиять с помощью изменения частоты дыхания, лежат в области физиологического соотношения вдоха-выдоха 1/1,3 [9]. При этом на

редких частотах дыхания оптимум соотношения вдоха-выдоха надо искать в окрестности 1/1,2-1/1,3, и на высоких – 1/1,3-1/1,4. Эти данные полезны в создании индивидуализированных программ биофидбека.

## ВЫВОДЫ

1. Метрономизированное дыхание с определенной частотой позволяет выборочно влиять на мощность отдельных компонентов спектра ВСР.
2. При индивидуальных различиях, максимум подъема мощности LF спектра ВСР происходит при частоте дыханий 6 в минуту, а максимум подъема мощности HF спектра ВСР – при частоте дыханий 10-12 в минуту.
3. Помимо частоты дыхания, на мощность LF и HF спектра ВСР оказывает влияние соотношение длительности вдоха-выдоха.
4. Максимумы значений ТР спектра ВСР и LF спектра ВСР лежат в диапазоне 1/1,2-1/1,3, а максимум HF спектра ВСР – в диапазоне 1/1,3-1/1,4.
5. Использование метода биологической обратной связи с разными частотами метрономизированного дыхания и соотношения вдоха-выдоха может быть мощным инструментом вмешательства в регуляцию и повышения качества жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jovanov E. Real-time monitoring of spontaneous resonance in heart rate variability. / E. Jovanov // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* – 2008. – P. 2789–2792.
  2. Lehrer P. M. Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: rationale and manual for training. / P. M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo // *Appl Psychophysiol Biofeedback.* – 2000. – № 25. – P. 177–191.
  3. Shields R.W. Jr. Heart rate variability with deep breathing as a clinical test of cardiovascular function. / R.W. Jr. Shields // *Cleve Clin J Med.* – 2009. – № 76. – Suppl 2. – P. 37–40.
  4. Van de Louw A. Breathing cardiovascular variability and baroreflex in mechanically ventilated patients. / A. Van de Louw, C. Médigue, Y. Papelier [et al.] // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* – 2008. – № 295(6). – P. 1934–1940.
  5. Buchner T. On the nature of heart rate variability in a breathing normal subject: a stochastic process analysis. / T. Buchner, M. Petelczyc, J. J. Zebrowski [et al.] // *Chaos.* – 2009. – № 19(2). – P. 428–504.
  6. Fang Y. Effect of different breathing patterns on nonlinearity of heart rate variability. / Y. Fang, J. T. Sun, C. Li [et al.] // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* – 2008. – P. 3220–3223.
  7. Kobayashi H. Does paced breathing improve the reproducibility of heart rate variability measurements? / H. Kobayashi // *J Physiol Anthropol.* – 2009. – № 28(5). – P. 225–230.
  8. Koskinen T. Short-term heart rate variability in healthy young adults: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. / T. Koskinen, M. Kähönen, A. Jula [et al.] // *Auton Neurosci.* – 2009. – № 28, 145(1-2). – P. 81–88.
  9. Lung function assessment and application in medicine / John E. Cotes. – [5 ed.] – Wiley-Blackwell, 1993. – 768 p.
- © Кулик О.Л., Задеріхін О.К., Шульгін В.І., Мартиненко О.В., 2009